

**PROCEDE ET APPAREILS POUR LES RADIOCOMMUNICATIONS ET/OU LES  
RADIOSEALISATIONS EN MILIEUX CLOS**

**Patent number:** FR2345865  
**Publication date:** 1977-10-21  
**Inventor:**  
**Applicant:** SINA SPA (IT)  
**Classification:**  
- **International:** H04B7/26  
- **European:** H04B5/00L  
**Application number:** FR19770008522 19770322  
**Priority number(s):** IT19760009381 19760322

**Also published as:**

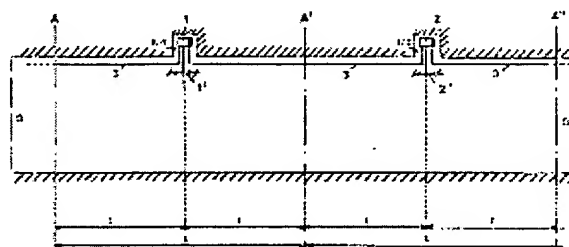


DE2712498 (A1)  
CH615306 (A5)  
IT1070376 (B)

**Abstract of FR2345865**

The process consists in emitting the radio signals into the medium in such a manner that said medium operates, for said signals, in the manner of a waveguide.

The apparatus comprises a plurality of radio repeaters (1, 2) placed at a distance from one another and linked to one another and to one or more external radio repeaters by means of a simple telephone cable (3). Each radio repeater is equipped with a radiative element (1', 2'). The process and the apparatus are especially utilised for transmission in railway and road tunnels and in underpasses.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

Best Available Copy

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :  
(A n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction).

**2 345 865**

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 77 08522**

(54) Procédé et appareils pour les radiocommunications et/ou les radiosignalisations en milieux clos.

(61) Classification internationale (Int. Cl.7). H 04 B 7/26.

(22) Date de dépôt ..... 22 mars 1977, à 15 h 27 mn.

(39) (32) (31) Priorité revendiquée : *Demande de brevet déposée en Italie le 22 mars 1976, n. 9.381 A/76 aux noms des demanderesse.*

(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande ..... B.O.P.I. - «Listes» n. 42 du 21-10-1977.

(71) Déposant : Sociétés dites : S.I.N.A. S.P.A. et I.M.A.R.T. S.R.L., résidant en Italie.

(72) Invention de :

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Germain, Maureau et Millet, Conseils en brevets, 4, rue d'Amsterdam, 75009 Paris.

Il n'y a aucun doute que l'on a assisté, au cours de ces dernières années, à l'augmentation du nombre des services publics et privés assurés par des opérateurs et/ou des unités fixes et/ou mobiles constamment reliés entre eux et/ou à des centrales opérationnelles par signaux radio de fréquences déterminées, par exemple de fréquences radiophoniques.

A titre d'exemple, citons les services des forces de l'ordre, des corps de police et de surveillance publics et privés, les services d'assistance à la circulation et à la santé publique, les services de transports publics urbains, les services de mise en place et d'assistance pour les installations de production et de transport de l'énergie électrique et pour les installations industrielles en général, les services de surveillance de la circulation routière, autoroutière, par chemin de fer, etc...

On observe de même que de plus en plus les communications et les appareils radio remplacent des installations qui auparavant faisaient appel à différentes techniques et destinées par exemple à la gestion, au contrôle, à la réglementation et à la signalisation à distance des installations électriques, ferroviaires, routières, hydrauliques et permettent d'assurer à distance les opérations, les vérifications et les contrôles nécessaires par l'intermédiaire d'impulsions radio émises par les centres opérationnels et/ou les appareils récepteurs-émetteurs de ces mêmes unités sous contrôle, fixes et mobiles et l'affichage sur les tableaux de commande installés à la centrale opérationnelle non seulement de l'état des installations, mais également des opérations effectuées et de toute autre information nécessaire ; et ce, toujours par l'intermédiaire de signaux radio.

Dans les pays dont les caractéristiques orographiques sont assez complexes, comme en Italie, ou encore dans les villes, où se développe sans cesse le phénomène de l'urbanisation souterraine, avec des routes et des voies de chemin de fer construites dans le sous-sol, la "couverture" de ce que l'on appelle les "zones d'ombre" pose de nombreux problèmes car les liaisons radio sont empêchées par les difficultés auxquelles se heurte la propagation des ondes électromagnétiques, tout particulièrement dans les tunnels où, en général, les liaisons radio entre deux véhicules ou entre un poste fixe et un véhicule sont coupées lorsque le véhicule se trouve à l'intérieur du tunnel ; il s'agit là d'un inconvénient qui de manière générale se produit toujours dans des milieux fermés, se

développant essentiellement dans le sens de la longueur, même si ceux-ci débouchent sur l'extérieur.

On sait que cela arrive même si la liaison radio passe par l'intermédiaire d'une station relais normale, car en effet, 5 les ondes électromagnétiques, qu'elles soient émises par la radio relais ou par le véhicule, ne sont pas en mesure de traverser les barrières ferromagnétiques ou conductrices d'une certaine densité, ni d'ailleurs les terrains de couverture et la structure même de l'ouvrage souterrain qui constituent de véritables obstacles à la 10 propagation des ondes radio.

On connaît les procédés et les appareils mis au point à ce jour pour pallier ces inconvénients ; ils comportent néanmoins des limitations non négligeables à l'efficacité et à la fiabilité des services indiqués plus haut, qualités qui pourtant ne devraient 15 pas faire défaut lorsque les objectifs à atteindre sont la sécurité et la continuité du service.

Les systèmes émetteurs-récepteurs en tunnel et en milieux souterrains, ou de toutes manières fermés, se développant essentiellement dans le sens de la longueur, débouchant aux extrémités sur 20 l'extérieur, ont été, jusqu'à ce jour, réalisés suivant deux techniques principales : ceux de la première génération qui utilisent des antennes à rayonnement aux entrées des tunnels, ne sont applicables qu'en cas de développement longitudinal limité, compte tenu de l'atténuation considérable des signaux ; ceux de la deuxième 25 génération, tels que le système AEG Telefunken, qui combinent les antennes directionnelles installées à l'extérieur du tunnel et les câbles coaxiaux "fendus", à rayonnement, installés tout le long de l'ouvrage souterrain, équipent actuellement un certain nombre de réseaux de métro et de lignes express, par exemple à Hambourg, 30 Munich et Sao Paulo, ainsi que des tunnels automobiles dans de grandes villes, comme à Francfort, permettant les communications en semi-duplex entre les véhicules et les centres opérationnels avec des résultats satisfaisants.

Ce deuxième système ne comporte pas d'inconvénients rédhibitoires, si ce n'est le coût élevé et la vulnérabilité intrinsèque 35 de l'élément essentiel, c'est-à-dire du câble coaxial "fendu" qui, monté tout le long du tunnel, risque d'être détruit en cas de sinistre (surtout en cas d'incendie) enlevant ainsi toute possibilité de communiquer avec l'extérieur dans des situations justement où il est 40 plus que jamais nécessaire de pouvoir disposer d'un tel service.

L'objet de la présente invention est constitué par une combinaison d'appareils et de techniques, déjà connus individuellement, mais utilisés selon une méthode et avec un équipement de conception originale permettant de dépasser les limites indiquées plus haut, le coût de la réalisation restant réduit.

On n'ignore pas en effet que le comportement des liaisons radio en milieu fermé est différent de celui en ambiance libre. Dans l'espace, les ondes ne s'atténuent pas, mais se dispersent en fonction du carré de la distance.

En milieu fermé, au contraire, la fréquence radio est en partie absorbée par les parois (placées à une distance déterminée de la source), et en partie réfléchie. La partie réfléchie agit à nouveau sur les parois, avec un résultat identique ; et ainsi de suite jusqu'à absorption totale de l'émission. Cet effet de réflexion-absorption entraîne l'atténuation rapide du phénomène électromagnétique, en fonction de la distance séparant les parois, de la nature et de la forme de celles-ci ainsi que de la fréquence des ondes radio utilisées.

Dans la suite, pour abrégé, nous désignerons par le terme "tunnel" tout milieu fermé, se développant essentiellement dans le sens longitudinal, d'une longueur même importante, ouvert sur l'extérieur aux deux extrémités, dites "entrées".

Une observation s'impose ici : du point de vue géométrique, un tunnel peut être considéré comme un espace délimité par six surfaces opposées, dont quatre placées à des distances déterminées (les parois latérales, la voûte et le sol) et deux à une distance infinie (les entrées). Suivant une approche originale, les déposantes ont voulu étudier de manière concrète, en procédant à des expériences et à des essais, la possibilité d'assimiler le tunnel à une ligne de transmission de fréquence radio, sans rayonnement, c'est-à-dire à un "guide d'onde" par rapport à la propagation des ondes électromagnétiques. Elles sont ainsi arrivées au résultat surprenant que toutes les lois théoriques régissant la propagation d'ondes électromagnétiques dans les guides d'onde sont en partie applicables aux tunnels.

On n'ignore pas qu'il est possible d'irradier des fréquences radio à l'intérieur d'un conduit si l'on respecte les conditions suivantes :

1) la fréquence minimale pouvant être propagée est fonction des caractéristiques géométriques de la section du conduit ainsi que

du système d'excitation ;

- 2) le système d'excitation doit être choisi parmi les systèmes possibles en fonction du type du conduit ;
- 3) la surface interne du conduit doit être uniforme, exempte d'aspérités, se rapprochant le plus possible des caractéristiques d'un miroir, d'une conductibilité électrique élevée.

Ainsi, par exemple, dans le cas d'un tunnel d'autoroute standard, la première condition est respectée si la fréquence est supérieure à 60 MHz ; la deuxième peut être obtenue facilement ; la troisième, au contraire, n'est pas remplie pour des raisons évidentes ayant trait aux caractéristiques de construction de l'ouvrage, dont les parois sont en général de béton, à coefficients de rugosité élevés et à haut pouvoir absorbant ; on se heurte par conséquent au phénomène de l'atténuation. Néanmoins, des essais approfondis ont fait apparaître que l'atténuation, tout en étant importante, n'exclut pas l'utilisation du tunnel en tant que guide d'onde.

En prenant toujours l'exemple d'un tunnel d'autoroute standard, l'atténuation spécifique moyenne est d'environ 0,15 dB/m à 160 MHz assurant ainsi une "couverture" moyenne suffisante, sur environ 900 mètres, à partir du point d'excitation, en amont et en aval dudit système d'excitation.

Ces considérations et ces essais sont à la base de la présente invention qui est fondée sur l'idée d'utiliser des relais placés à l'intérieur du tunnel et permettant d'étendre, toujours à l'intérieur de celui-ci, la zone de couverture des relais extérieurs.

En ce qui concerne le procédé, celui-ci est fondé sur la combinaison des données ci-dessous :

- 1) un système d'excitation radioélectrique placé à l'intérieur d'un guide d'onde entraîne la propagation des ondes radio dans les deux directions opposées ; il en découle qu'un élément rayonnant placé à l'intérieur d'un tunnel fournit une couverture radio interne d'une longueur double par rapport à celle qu'il serait possible d'obtenir avec un élément rayonnant placé à l'entrée dudit tunnel.

2) Une information peut être transmise à un ou plusieurs relais intérieurs par l'intermédiaire d'un câble téléphonique relié à un relais extérieur, ou, de manière plus générale, à la source de l'information.

- 3 - L'atténuation caractéristique du tunnel étant élevée, il y a

lieu d'utiliser un relais à deux voies et d'alimenter, à partir de ce même relais, un deuxième élément rayonnant placé sous l'arcade voisine dudit tunnel si l'ouvrage, ainsi que cela se produit souvent, est constitué de deux tunnels côte à côte (chemins de fer, routes, etc...)

La perte de répartition dans ce cas est de 3 dB (réduction de 20 mètres environ seulement de chaque côté de la zone de couverture de chaque élément dans le cas d'un tunnel d'autoroute standard à 160 MHz, mais en cas d'arcade double la zone couverte par un seul relais est doublée.

Il en résulte qu'un relais placé sous un tunnel d'autoroute standard à double arcade est en mesure de fournir une zone globale de couverture d'environ  $900 \times 4 = 3.600$  m à 160 MHz.

4) L'atténuation plus importante des tunnels aux fréquences plus basses est compensée par l'atténuation caractéristique moindre d'un câble coaxial traditionnel par rapport au tunnel lui-même ; ainsi, en éloignant l'élément ou les éléments rayonnants du relais en utilisant un câble coaxial simple, il est possible d'étendre encore davantage la zone couverte par un relais.

5) Si la longueur d'un tunnel est nettement supérieure aux possibilités de couverture d'un relais unique, relié à un ou plusieurs éléments rayonnants par un simple câble coaxial, on peut utiliser deux ou plusieurs relais reliés entre eux par un simple câble téléphonique.

6) L'utilisation sur des fréquences toujours plus hautes (par exemple 400 - 470 MHz) assure une couverture bien supérieure à celle que l'on pourrait obtenir avec un seul relais à 160 MHz pour un tunnel d'autoroute standard.

Le procédé objet de la présente invention ainsi que l'équipement correspondant offrent de nombreux avantages par rapport à l'état actuel de la technique ; on peut les résumer ainsi :

- a) utilisation du tunnel comme guide d'onde, avec excitation à l'intérieur du tunnel ;
- b) liaison entre un relais extérieur et un ou plusieurs relais placés à l'intérieur du tunnel par simple câble téléphonique ;
- c) exploitation de l'atténuation élevée du tunnel pour la réduction de la perte de répartition à deux voies et couvrir avec un relais unique, dans l'hypothèse de deux tunnels côte à côte, les deux arcades voisines ;

- d) utilisation du taux nettement inférieur de perte du câble coaxial par rapport à celui du tunnel pour étendre la zone de couverture de chaque relais à l'intérieur du tunnel, plusieurs éléments rayonnants étant reliés entre eux et alimentés par câble coaxial par chaque relais ;
- e) coût de l'installation nettement inférieur par rapport à celui d'une installation de liaison radio réalisée avec le système du câble "fendu" ;
- f) vulnérabilité réduite en cas d'incendie, explosion, sabotage ou endommagement, car il est possible de concentrer en un seul endroit, que l'on choisira le plus à l'abri possible, tous les appareils ;
- g) risque statistique de pannes réduit si les événements ci-dessus venaient à se produire car l'élément rayonnant est placé en un ou plusieurs endroits du tunnel mais pas sur toute sa longueur ;
- h) risque statistique de panne totale réduit dans le cas de plusieurs éléments rayonnants et/ou relais à l'intérieur du tunnel ; l'endommagement éventuel d'un seul élément rayonnant et/ou relais ne ferait que réduire, pour ce qui a trait à la zone correspondante, la zone totale de couverture radio.

A titre d'exemple non limitatif, la figure 1 schématise l'une des dispositions possibles d'une installation fonctionnant suivant le procédé conforme à la présente invention.

- Elle représente, en coupe horizontale, un tunnel (G - G') d'une longueur par hypothèse indéfinie, où la partie (L = 2I) représente la longueur de la zone de couverture radio que l'on peut obtenir avec un seul relais (la valeur (I) correspondant au rapport existant entre la puissance disponible du relais, exprimée en dB, et le facteur d'atténuation, exprimé en dB/m qui, pour une fréquence donnée, est fonction des caractéristiques de construction du tunnel). A l'intérieur de ce tunnel (G - G') sont installés deux relais (1, 2), à côté de leur élément rayonnant (1' - 2'), chacun permettant de recevoir et d'émettre des ondes radio respectivement dans les parties du tunnel comprises entre les sections (A - A') et (A' - A''). Les relais intérieurs (1 - 2) reçoivent l'information du ou des relais installés à l'extérieur du tunnel (qui, pour simplifier, ne sont pas représentés) par l'intermédiaire d'un câble téléphonique (3) qui assure également la liaison entre les relais intérieurs.

Bien évidemment, si la longueur du tunnel était inférieure



ou égale à (L) (1800 m environ dans le cas de tunnels d'autoroute avec revêtement de béton et de section standard, pour une fréquence de 160 MHz) un seul relais, installé à l'intérieur du tunnel, est suffisant pour assurer la réception et l'émission sur toute la longueur de l'ouvrage souterrain.

La figure 2, toujours à titre d'exemple non limitatif, montre comment, sans changer le nombre ni les prestations des relais devant être installés à l'intérieur du tunnel, la longueur de la zone de couverture radio pouvant être obtenue avec un seul relais (11) peut être étendue, dans une certaine mesure, en éloignant du relais (11) les éléments rayonnants (11' - 11'') en utilisant un simple câble coaxial (4).

La longueur de la zone de couverture radio (L') pouvant ainsi être obtenue peut être égale à  $4I'$  où ( $I'$ ), à prestations égales du relais, est nettement inférieure à ( $I$ ), en raison des atténuations dans le câble coaxial, mais presque toujours supérieure à  $1/2$  si l'on considère que le facteur d'atténuation du câble est faible par rapport à celui caractéristique du tunnel, surtout si le revêtement est en maçonnerie, ce qui est normalement le cas.

Ainsi, par exemple, pour les tunnels d'autoroutes de sections standard, dont la fréquence est de 160 MHz et le facteur d'atténuation caractéristique du tunnel de 0,15 dB/m, la longueur maximale pouvant être desservie par un seul relais, en utilisant un simple câble coaxial RG8/U (atténuation caractéristique à 160 MHz : 0,08 dB/m), peut dépasser les 1.800 m indiqués plus haut et atteindre 2.000 - 2.200 m.

Les figures 1 et 2 montrent également comment les relais radio doivent être installés à l'intérieur du tunnel, dans des niches (N1 - N2- N11) respectivement, séparés et à l'abri de la circulation, du public, etc...

La figure 3 montre, toujours à titre d'exemple non limitatif, un tronçon de tunnel à deux arcades ( $G_1 - G'_1$ ) - ( $G_2 - G'_2$ ) d'une longueur  $2L$  et l'une des dispositions possibles d'une installation fonctionnant suivant la méthode conforme à la présente invention en cas de deux tunnels côte à côte dont la longueur serait supérieure à  $2L$  disposant bien entendu de passages de service ("by pass") permettant de passer d'une arcade à l'autre : les relais (21 - 22) sont convenablement placés dans les passages de service (P21 - P22) et, grâce aux éléments rayonnants

- (21' - 21'' - 21''' - 21) (22' - 22'' - 22''' - 22) alimentés par les câbles coaxiaux (4), ils permettent de recevoir et d'émettre dans les deux tronçons des arcades ( $G_1 - G'_1$ ) et ( $G_2 - G'_2$ ) du tunnel. L'information est fournie aux relais par un câble téléphonique (3) 5 qui les relie entre eux et au ou aux relais extérieurs (non représentés). La longueur de la zone de couverture radio ( $L''$ ) ainsi obtenue, pour chaque arcade et pour chaque relais, est égale à  $4 I''$ , où  $I'' - I'$  env.

- Dans la pratique, les détails d'exécution peuvent de toutes 10 manières varier dans la forme, les dimensions, la disposition des éléments, la nature des matériaux sans toutefois sortir du cadre des idées de solution adoptées.

REVENDICATIONS

- 1 - Procédé pour les radiocommunications et/ou les radiosignalisations en milieux fermés, se développant essentiellement en longueur et débouchant sur l'extérieur par les deux extrémités, même souterrains, en particulier tunnels, même de longueur importante, caractérisé par le fait qu'il consiste à assimiler lesdits milieux à un guide d'onde qui, correctement excité à l'intérieur, entraîne la propagation des ondes électromagnétiques grâce à l'utilisation d'un ou plusieurs relais et des éléments rayonnants correspondants et par le fait que ces relais sont reliés entre eux et à un ou plusieurs relais extérieurs par simple câble téléphonique.
- 2 - Procédé selon la Revendication précédente caractérisé par le fait que pour étendre la zone de couverture de chaque relais intérieur sont utilisées deux ou plusieurs éléments rayonnants, convenablement éloignés de chaque relais intérieur grâce à un câble coaxial dont le facteur d'atténuation caractéristique est nettement inférieur à celui du tunnel lui-même et par le fait qu'en cas de deux tunnels côte à côte les deux ou plusieurs éléments rayonnants sont placés un ou plusieurs par arcade de manière à couvrir, avec un seul relais, des tronçons d'égale longueur des deux tunnels côte à côte.
- 3 - Equipement pour les radiocommunications et/ou les radiosignalisations en milieux fermés se développant essentiellement en longueur et débouchant sur l'extérieur par les deux extrémités, même souterrain, en particulier tunnels, même de longueur importante, agencé pour la mise en oeuvre du procédé selon les Revendications ci-dessus, caractérisé par le fait qu'il comprend un ou plusieurs relais installés à des distances dépendant de la puissance disponible dudit ou desdits relais, de la fréquence adoptée ainsi que des caractéristiques géométriques et de construction du milieu ou tunnel, le ou les relais intérieurs étant reliés à un ou plusieurs relais extérieurs par simple câble téléphonique.
- 4 - Equipement selon la Revendication 3, caractérisé par le fait que les éléments rayonnants du ou des relais montés à l'intérieur du tunnel sont convenablement écartés du ou des relais grâce à un câble coaxial et par le fait que dans l'hypothèse de deux tunnels côte à côte les éléments rayonnants du ou des relais intérieurs sont convenablement éloignés desdits appareils grâce à des câbles coaxiaux, chaque câble coaxial pouvant porter même plusieurs

10

2345865

éléments, permettant ainsi, à chaque relais, de couvrir des tronçons des deux tunnels.

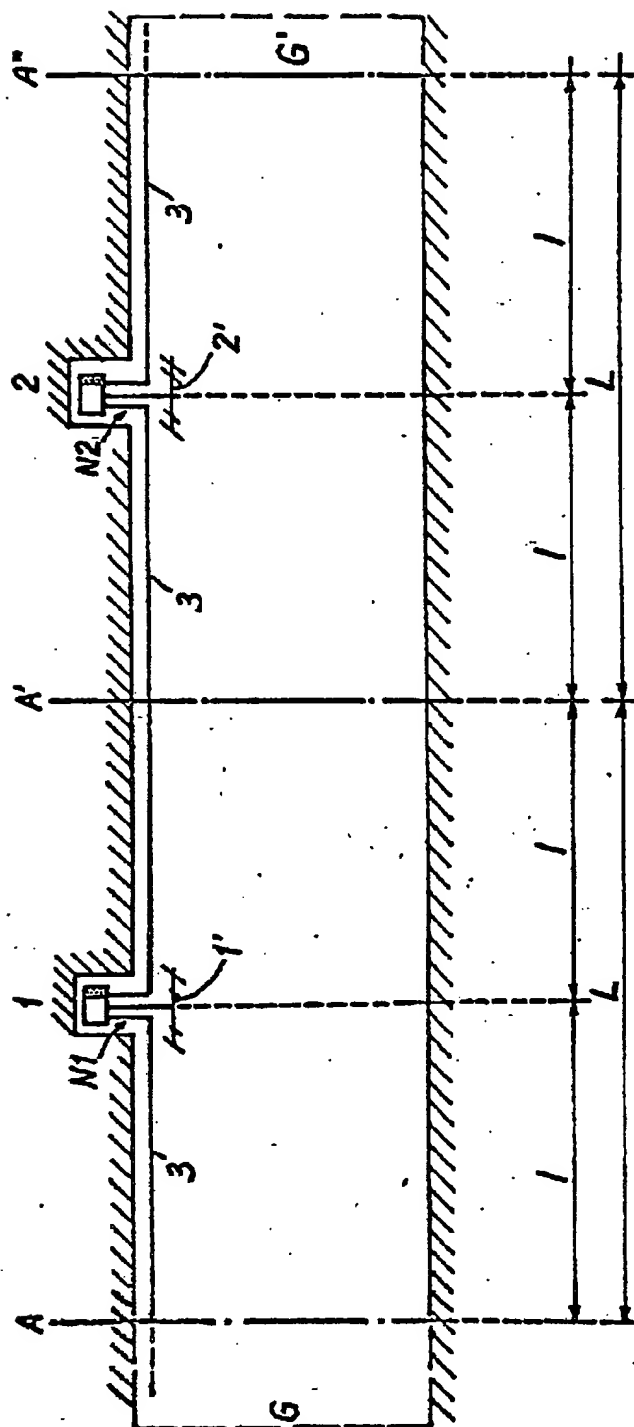
5 - Equipement selon l'une quelconque des Revendications 3 et 4, caractérisé par le fait que les relais intérieurs sont reliés entre eux au moyen d'un simple câble téléphonique.

6 - Equipement selon l'une quelconque des Revendications 3 à 5, caractérisé par le fait que les émetteurs-récepteurs intérieurs sont installés dans des niches et/ou logés dans les passages de service des tunnels.

**PL.1-3**

2345865

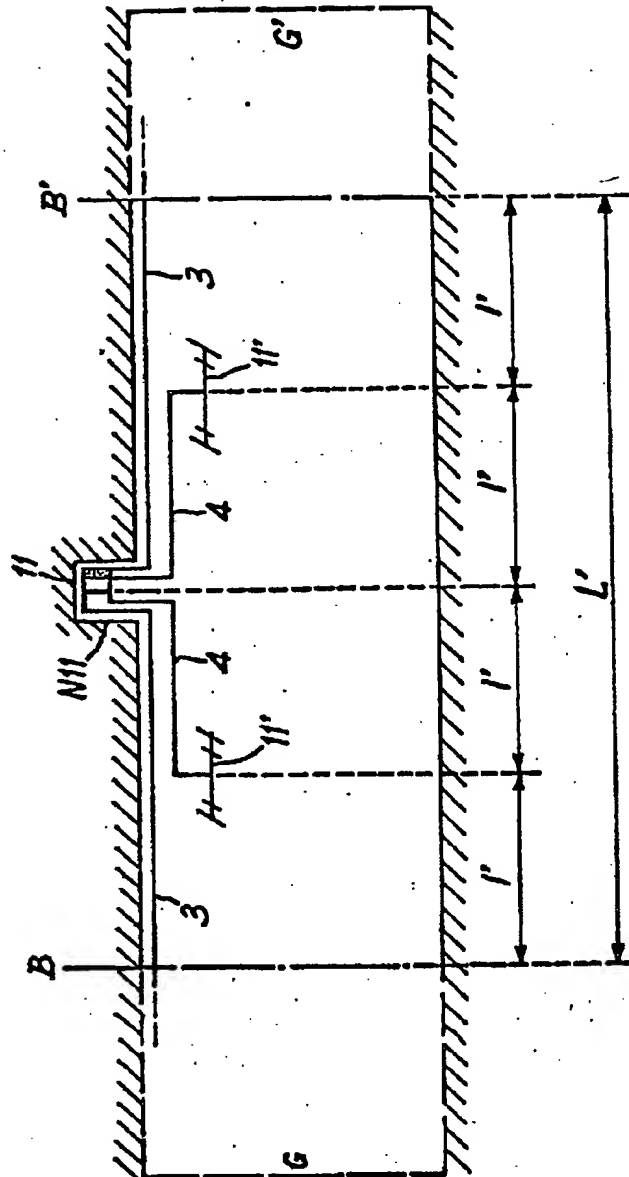
Fig. 1



**PL.11-3**

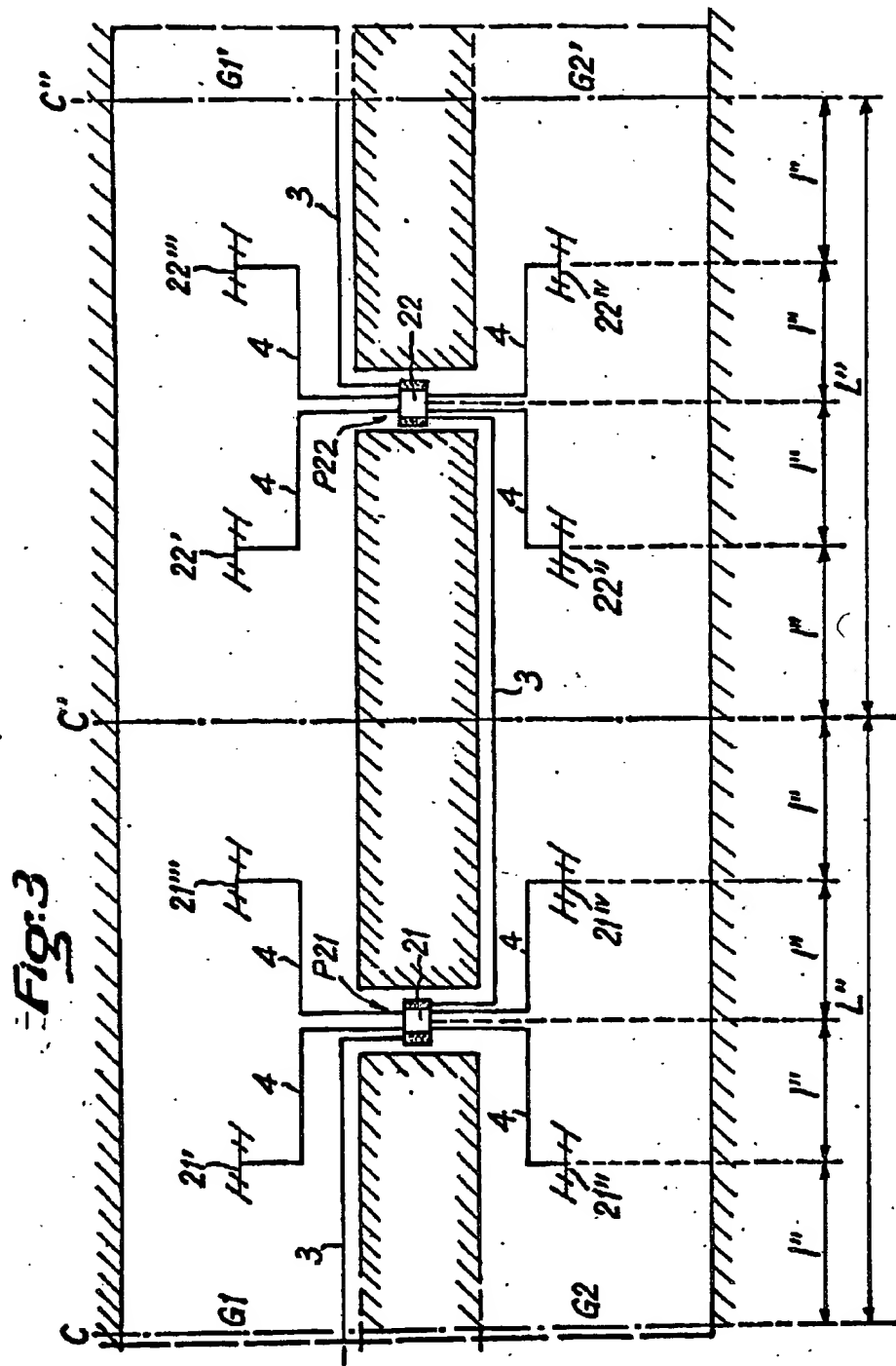
2345865

**Fig: 2**



**PL.III-3**

2345865



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**